

軸流ポンプ羽根車羽根のキャビテーションに及ぼす 導羽根の干渉

著者	伊藤 秀樹
号	897
発行年	1982
URL	http://hdl.handle.net/10097/9633

氏 名	伊 藤 秀 樹
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 58 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 機械工学専攻
学 位 論 文 題 目	軸流ポンプ羽根車羽根のキャビテーションに及ぼす 導羽根の干渉
指 導 教 官	東北大学教授 村 井 等
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 村 井 等 東北大学教授 西 山 哲男 東北大学教授 大 場 利 三 郎

1. 緒 言

キャビテーション発生に伴う振動および騒音の低減は、水力機械の大形化、高速化によってますます重要な課題となりつつある。しかしながらこの問題に関する従来の研究の多くは、水力機械を含む系の振動として取扱っており、発達したキャビテーションに固有の振動との関係が十分に明らかにされているとは言い難い。本研究はこの点に着目して、軸流ポンプ羽根車羽根に発生するキャビテーションが誘起する振動とそれに及ぼす導羽根の影響を明らかにしようとしたもので、

(1) 単独翼において、キャビテーションに固有の振動が流れ場を表す諸量に与える影響を求めること。

(2) 流れ場の代表値としてケーシング壁面内圧力を採り、導羽根を取除いた軸流ポンプにおいて、羽根車羽根上の変動キャビテーションが水力機械およびそれを含む系の振動に及ぼす影響を求めること。

(3) 導羽根を後置した軸流ポンプにおいて、導羽根の存在が羽根車羽根上の変動キャビテーションに与える影響、および上述の系の振動との関係に及ぼす付加効果を求めること。
を目的とした各実験より成る。

2. 単独翼に発生する部分空洞の挙動

実験は回流水槽の二次元測定部を用いて行った。供試翼形としてクラークY翼形（厚み比11.7%）、欠円翼形（厚み比7%）の前縁半径の異なる2種の翼形を用い、発生する変動キャビテーションの空洞長さ、空洞内圧力と、それによって翼形に働く揚力および抗力の変動の振動数、振幅、およびそれら諸量の間の相関を求めている。各翼形の迎え角が 3° 、 6° および 9° について、測定部流速を2種類に一定にして、静圧を変化させ、空洞初生から空洞が安定化する迄のキャビテーション係数の範囲で実験を行った。

(1) 空洞特性 高速度写真より読みとった空洞長さの時刻

歴と、同時記録した揚力、抗力、および空洞内圧力の変動波形の一例を図1に示す。気泡塊の空洞からの離脱により、空洞長さが鋸歯状の変化をしていることがわかる。また、対応する流体力の波形は全て、空洞長さと同位相の変化を示していて、特に空洞内圧力の波形には気泡塊の離脱を示すスパイクが顕著である。上記時刻歴を用いて変動の振幅を表す実効値、周波数成分を表すパワースペクトル密度関数などを求めた。その結果、空洞長さの変動の実効値の時間平均値に対する比は、キャビテーション係数の減少に伴い増加すること。その変動の初期においては、定常空洞長さの増加に従ってその値が減少する、50 Hz以上の高い周波数の変動が支配的であること。

非定常空洞の後端が翼後縁に近づく後期の、いわゆる激振領域ではそれとは異なった約

20～30 Hzの確定した低い周波数が支配的となること。がわかった。

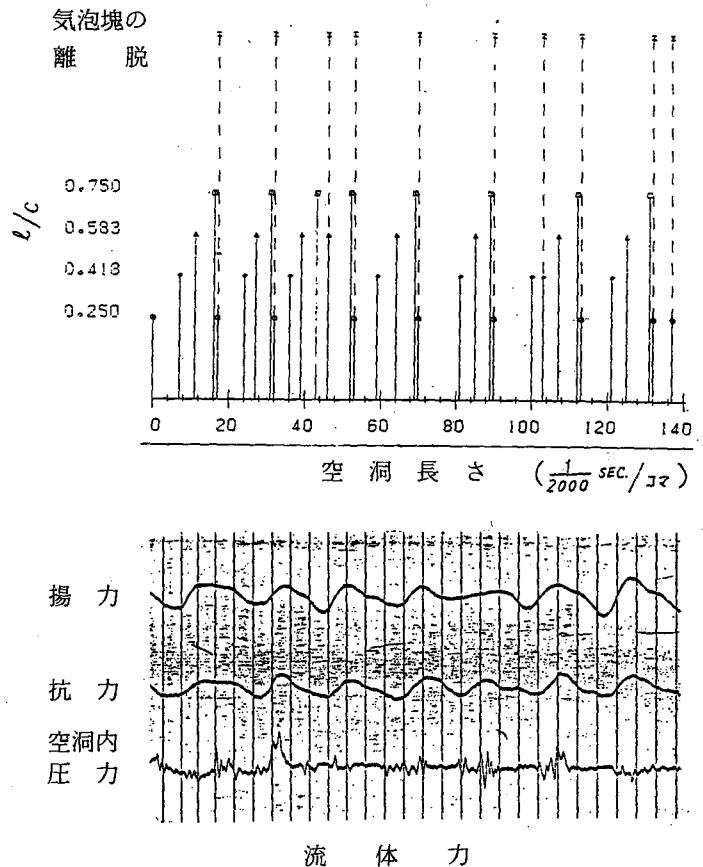


図1 空洞長さと言体力の時間的变化

（クラークY翼形，迎え角 9° ， $\sigma = 1.717$ ）

(2)流体力特性 空洞長さの変化によって誘起される揚力、抗力、および空洞内圧力の変動についても同様の考察を行った。ここでは、例として揚力について述べる。変動の実効値の時間平均値に対する比を図2に示す。キャビテーション係数の変化に対して両翼形、各迎え角共、極大値をもつ傾向があり、それらは全て非定常空洞の後端が翼後縁を越えて変動する激振領域の後期に対応している。その傾きはクラークY翼形の方が欠円翼形に比べて緩やかであるが、極大値の大きさは迎え角 9° の場合、約2倍の値となり、両翼形における空洞発生機構の差異が顕著に現われる。

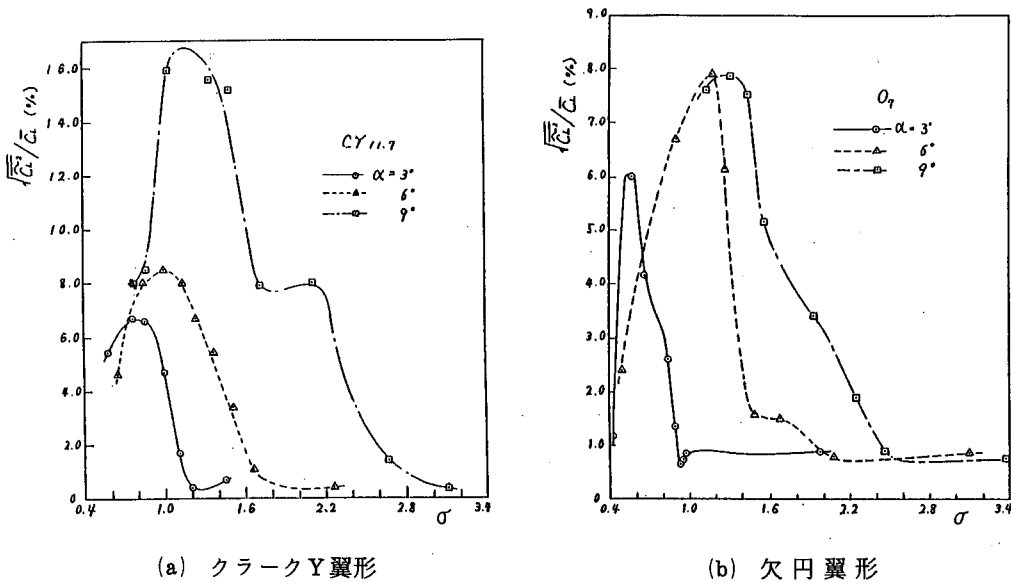


図2 変動揚力の実効値

図3にパワースペクトル密度関数の一例を示す。空洞初生時から、空洞に目視による顕著な変動が認められるに到る迄は、その変動のパワーレベルにおける卓越周波数成分は、キャビテーション係数の減少に伴い低下する。これは、空洞部分も含めた測定系の固有振動数が、空洞の付加質量等の効果によって変化したものと考えることができる。さらに空洞長さの変動が大きくなり激振領域に入ると、それとは異なった低周波領域の周波数成分が卓越する。この発達したキャビテーションに支配的な周波数成分は、クラークY翼形の場合、空洞長さの時間平均が弦長を超える迄ほぼ一定で、測定部流速を用いた無次元振動数にして約 $1.0 \sim 1.1$ であった。欠円翼形においては、空洞長さの時間平均の増加に従って増大し、激振領域の後期に到って飽和する傾向にあり、その飽和に近い無次元振動数は約 $1.0 \sim 1.1$ であった。

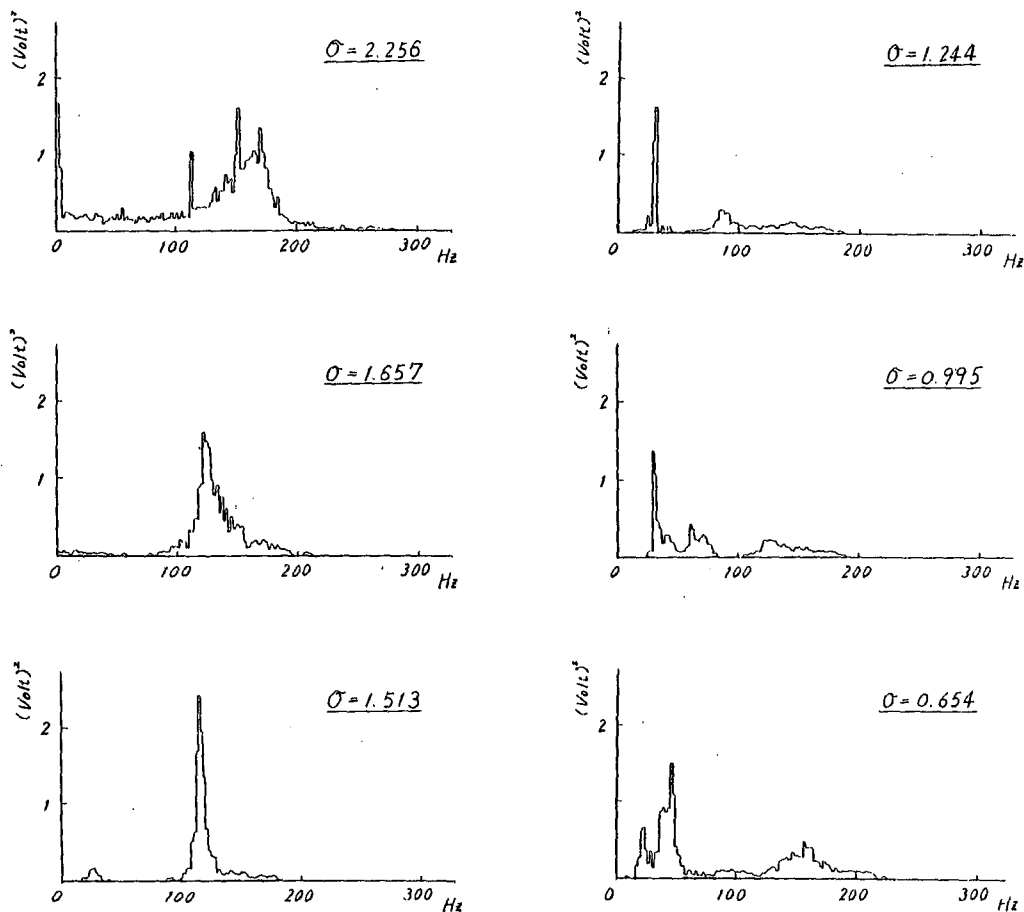
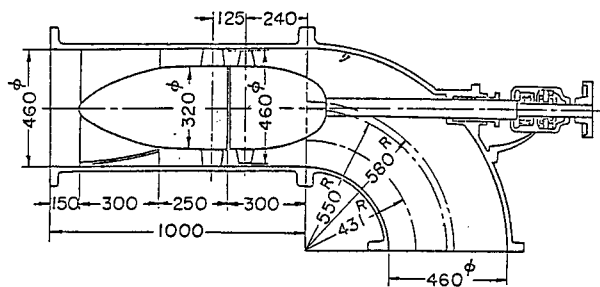


図3 揚力のパワースペクトル密度関数
(クラークY翼形, 迎え角 6°)

3. 回転翼列に発生する部分空洞の挙動

発達したキャビテーションに固有の振動は、水力機械およびそれを含む配管系に対し加振力として作用する。本章では、回転翼列について、羽根車羽根上のキャビテーションの空洞長さおよび羽根車上、下流におけるケーシング壁面内圧力の変動、およびそれら相互の相関を求めることにより、変動キャビテーションのもたらす影響を明らかにしている。実験は回流水槽に組み込まれた軸流ポンプ(図4)で、導羽根を取除いて行った。ケーシング壁面内圧力は、羽根車上流 B_3 、羽根車直後 B_2 、および導羽根下流 B_1 の3点において測定、記録し、高速度撮影した空洞の挙動との対応をつけている。実験は設計点流量で、軸心を基準とした吸込圧力 $P_{sv} = -0.3, -0.4, -0.5 \text{ kg/cm}^2$ について行った。



回 転 数	720	流 量 m^3/min	24.5
揚 程 m	4.11	所 要 馬 力	30

< 設 計 点 要 目 >

< 羽 根 車 羽 根 諸 元 >

	先 端	ボス付根
弦 長 mm	70.0	63.0
ピ ッ チ mm	80.29	55.85
節 弦 比	1.147	0.887
取 付 角	20.3°	34.2°
翼 厚 mm	2.9	5.0
翼 形	欠円翼形	
羽根枚数	18	

< 導 羽 根 諸 元 >

	先 端	ボス付根
弦 長 mm	70.0	
取 付 角	75.5°	69.6°
翼 形	欠円翼形 0_7	
羽根枚数	17	

図 4 供 試 ポ ン プ

(1)空洞特性 空洞長さの変動は複合周期的であり、その壁面内圧力への影響は B_3 の波形に顕著に現れ、吸込圧力の低下に伴い B_1 にも認められる様になる。その実効値の時間平均値に対する比は、吸込圧力の低下と共に増加するが、変化の割合すなわち変動率は逆に減少する。また、図5に示すパワースペクトル密度関数から、上記変動には倍数関係の基準となる周波数成分が卓越して存在し、吸込圧力の変化にも拘らず、 $28 \sim 30 \text{ Hz}$ の値となることがわかる。これを翼列への流入速度を用いて無次元振動数で表すと $0.91 \sim 0.98$ で、単独翼形で求めた空洞に固有な値よりやや小さい値となるが、そのキャビテーション係数による変化の傾向と一致している。

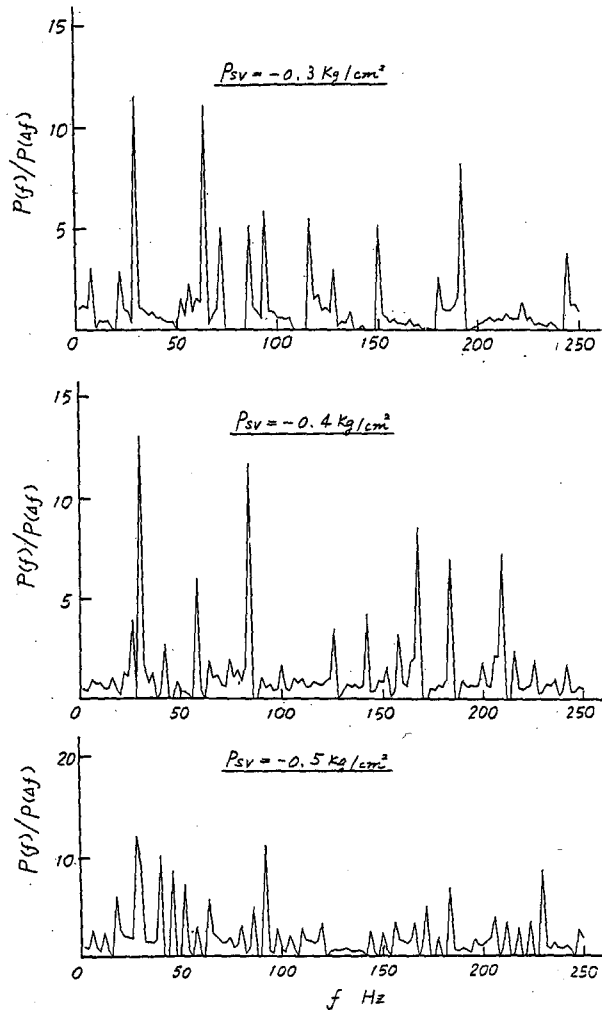


図5 空洞長さのパワースペクトル密度関数

(2) 壁面内圧力特性 壁面内圧力の変動のパワーレベルにおける上記空洞固有の周波数成分は、キャビテーション発生と同時に現われ、吸込圧力の低下と共にそのレベルが高くなる(図6)が、羽根車直後 B_2 においては、ポンプ回転数 N の3次高調波を中心とした周波数成分が卓越するために他の2点程顕著ではない。その周波数成分における圧力変動の各測定点間の位相差は、コヒーレンス関数(図7)より得られ、羽根下流側の2点 B_2 、 B_1 間には位相差がなく、上流側 B_3 はそれらと逆位相であることがわかった。また、図に見られる様に関連度が高く、各測定間の位相差が0である18 Hzの圧力変動が認められた。これは、キャビテーション発生により測定管路系に誘起される自励振動を表すものと考えることができる。

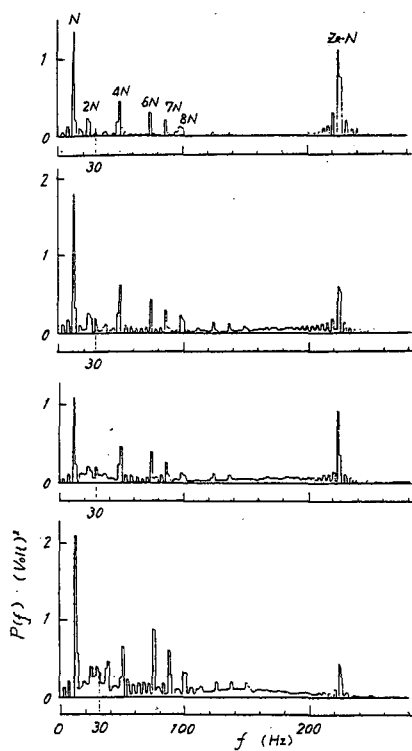


図6 壁面内圧力のパワースペクトル
密度関数 (B_3)
 N : 羽根車回転数 (rps)
 Z_R : 羽根車羽根枚数

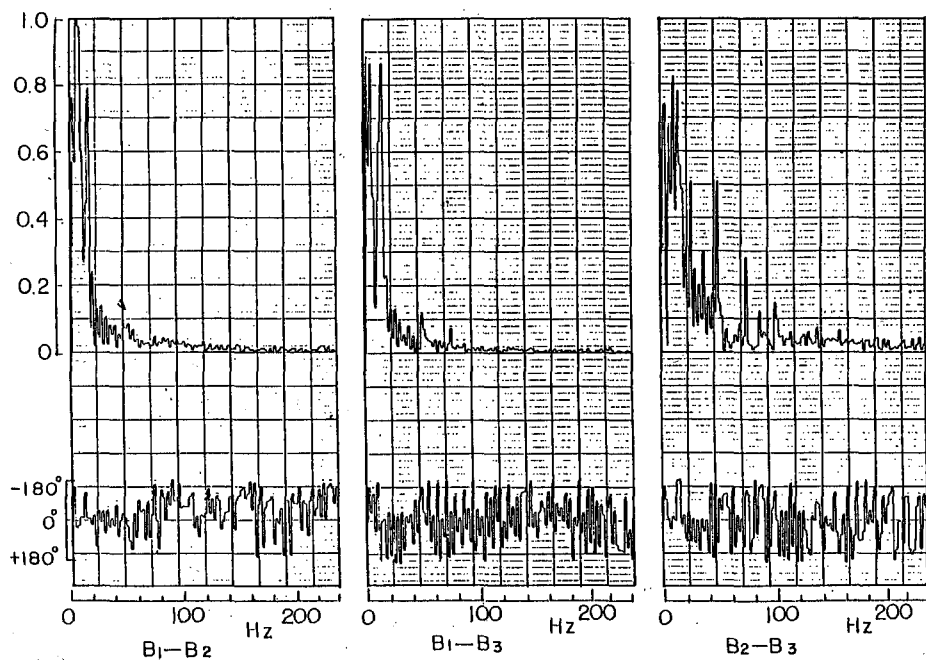


図7 壁面圧力間のコヒーレンス ($P_{sv} = -0.4 \text{ kg/cm}^2$)

4 後置静翼を持つ羽根車に発生する部分空洞の挙動

実用に供される水力機械においては、導羽根など羽根車周辺に存在する機械要素もまた、羽根車との相互干渉によってその流れ場に大きな影響を与える。本章では、前章で用いた供試ポンプに導羽根（図4）を後置し、羽根車羽根上のキャビテーションおよび壁面内圧力に関して同様の測定を行い、その結果を比較することにより、導羽根がもたらす影響を求めている。空洞長さの測定は設計点流量で、 $P_{sv} = 0, -0.15, -0.3 \text{ kg/cm}^2$ について行った。

(1)空洞特性 導羽根のない場合に比べて大きい吸込圧力（図8）において、羽根車羽根にキャビテーションが発生する。空洞長さの変化は、導羽根のない場合と同じく複合周期的であるが、吸込圧力の低下に伴い、 B_2 も含めた全ての圧力波形に影響が認められる。その実効値の時

間平均値に対する比を図9(a)に示す。導羽根のない場合とは異なり、吸込圧力の低下に伴ってその変動率も増加する傾向にある。これは、導羽根のない場合には空洞後端の厚みが大きく、十分発達しないままに主流中に気泡塊を放出するのに対し、導羽根がある場合には後端厚みがさ程小さくなく、翼後縁に到る迄発達し得るためである。このことはまた、図9(b)に示す実効値および時間平均値それぞれの、吸込圧力の変化による傾向からも明らかである。しかしながら、その変動に固有な周波数成分は、無次元振動数にして0.91～0.98で、導羽根の影響を受けない。

(2)壁面内圧力特性 壁面内圧力の変動のパワーレベルにおいて上記空洞固有の周波数成分は、キャビテーション発生と同時に B_2 も含めた全ての測定点に現われ、吸込圧力の低下に伴ってそのレベルが高くなる。その周波数成分における圧力変動の各測定点間の位相については、 B_3 と B_2 が逆位相で、これは導羽根のない場合と同じであるが、 B_2 と B_1 の間に顕著な位相差が認められた。このことは導羽根の存在に起因するものである。

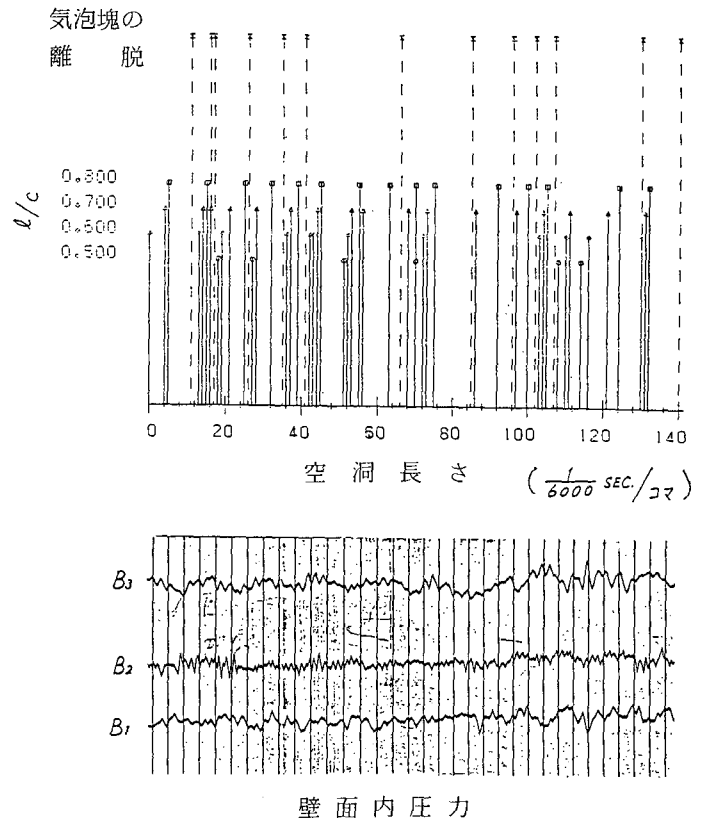
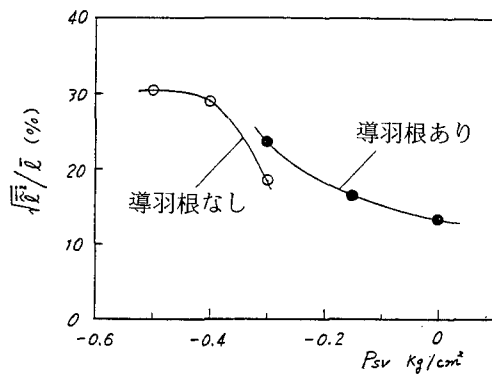
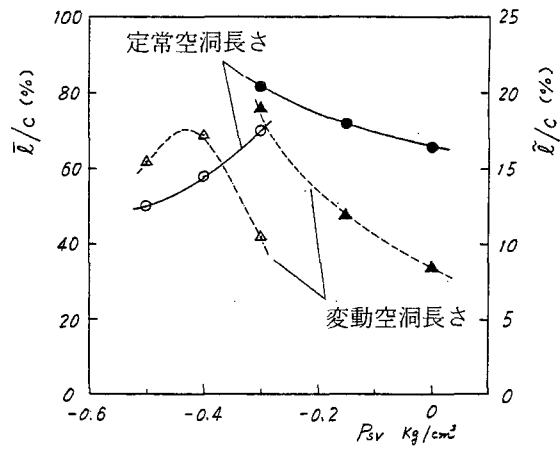


図8 空洞長さと壁面内圧力の時間的变化
($P_{sv} = 0 \text{ kg/cm}^2$)



(a) 変動空洞長さと定常空洞長さの比



(b) 定常空洞長さおよび変動空洞長さ

図9 空洞長さの吸込圧力による変化

審 査 結 果 の 要 旨

キャビテーション発生に伴う振動および騒音の低減は、水力機械の大形化、高速化によってますます重要な課題となりつつあるが、この問題に関する従来の研究の多くは、水力機械を含む系の振動として取扱っており、発達したキャビテーションに固有の振動との関係が十分に明らかにされているとは言い難い。本論文はこの点に着目して、軸流ポンプ羽根車羽根に発生するキャビテーションが誘起する振動とそれに及ぼす導羽根の影響を実験的に明らかにしようとしたもので、全篇5章より成る。

第1章は緒論である。第2章は単独翼形を用いた実験で、翼形に発生するキャビテーションの空洞長さ、空洞内圧力の変動ならびにそれによる翼形に働く揚力および抗力の変動の振動数、振幅、およびそれら諸量の間の相関を求め、キャビテーションに固有の振動の周波数を計測し、また、キャビテーションが流れ場に与える影響を明らかにしている。

第3章では、導羽根を取除いた軸流ポンプを用い、回転翼列がポンプおよびそれを含む管路系の振動に及ぼす羽根車羽根上の変動キャビテーションの影響を、空洞長さおよび羽根車上、下流におけるケーシング内面圧力の変動、およびそれら相互の相関によって明らかにしている。すなわち、(i)羽根車羽根上のキャビテーションに固有の振動は、前章で単独翼形について求めたそれと、無次元振動数について一致した傾向を示し、(ii)壁面内圧力の変動にもその周波数成分が、キャビテーション発生と同時に現われることなどである。

第4章においては、前章で用いた軸流ポンプに導羽根を取付けて同様の測定を行い、それらの結果を比較することによって、導羽根の影響を明らかにしている。すなわち、(i)導羽根がない場合に比べて大きい吸込み圧力において羽根車羽根にキャビテーションが発生すること、(ii)空洞長さの時間平均値、変動の実効値、および後者の前者に対する比は、全て吸込み圧力の低下によって増大し、導羽根がない場合とは逆の変動率を持つこと、(iii)軸流方向に異なる測定点の壁面内圧力の変動間の位相差に導羽根の影響が現われることなどを示している。第5章は、結論である。

以上要するに、本論文は軸流ポンプ羽根車羽根に発生するキャビテーションがポンプおよびそれを含む管路系に誘起する振動の中の、キャビテーション固有の振動に起因するものと、それに及ぼす導羽根の影響を明らかにしたもので、流体機械学ならびに流体工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。